

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

0671905
オ'17
12/25
JC978 U.S. PTO
10/023653
12/21/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-393838

出 願 人

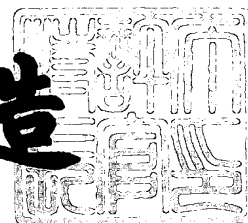
Applicant(s):

株式会社ニコン

2001年11月 9日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3098788

【書類名】 特許願

【整理番号】 J86851A1

【提出日】 平成12年12月25日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 露光装置

【請求項の数】 9

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

 【氏名】 高橋 正人

【特許出願人】

 【識別番号】 000004112

 【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

 【識別番号】 100064908

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

 【識別番号】 100108578

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089037

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 渡邊 隆

【選任した代理人】

 【識別番号】 100101465

 【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100107836

【弁理士】

【氏名又は名称】 西 和哉

【選任した代理人】

【識別番号】 100108453

【弁理士】

【氏名又は名称】 村山 靖彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9800076

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 照明光学系により照明されたマスクのパターンを基板に露光する露光装置において、

前記照明光学系の少なくとも一部と前記マスクとを支持する支持部と、

前記マスクの照明領域を設定するとともに、前記支持部とは振動的に独立して配置された照明領域設定装置と、

前記照明光学系の少なくとも一部と前記照明領域設定装置との相対位置関係を検出する検出装置と、

前記検出装置の検出結果に基づいて前記照明領域設定装置の位置を調整する調整装置とを備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の露光装置において、

前記照明領域設定装置は、前記露光を実施するときと前記露光を実施しないときとで前記マスクの照明領域の大きさを変えることを特徴とする露光装置。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 記載の露光装置において、

前記調整装置は、前記照明領域設定装置の位置を 2 次元平面内で調整することを特徴とする露光装置。

【請求項 4】 請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項記載の露光装置において、

前記露光装置は、前記マスクと前記基板とを走査して前記パターンを前記基板に露光する走査型露光装置であることを特徴とする露光装置。

【請求項 5】 マスクのパターンを投影光学系により基板に投影露光する露光装置において、

前記マスクと前記投影光学系との間に配設される光学系と、

該光学系と前記投影光学系との相対位置関係を計測する計測装置と、

前記計測装置の計測結果に基づいて前記基板に投影されるパターン像の位置を調整する調整装置とを備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 6】 請求項 5 記載の露光装置において、

前記マスクを保持して移動するマスクステージを備え、

前記調整装置は、前記計測装置の計測結果に基づいて前記マスクステージを駆動することを特徴とする露光装置。

【請求項 7】 請求項 5 または請求項 6 記載の露光装置において、

前記光学系は、前記投影光学系に支持されていることを特徴とする露光装置。

【請求項 8】 請求項 5 から請求項 7 のいずれか 1 項記載の露光装置において、

前記光学系は、前記投影光学系に平行光束を入射することを特徴とする露光装置。

【請求項 9】 請求項 5 から請求項 8 のいずれか 1 項記載の露光装置において、

前記露光装置は、前記マスクと前記基板とを走査して前記パターンを前記基板に露光する走査型露光装置であることを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、照明光学系により照明されたマスクのパターンを基板に露光する露光装置に関し、特にマスクの照明領域を設定する照明領域設定装置や、マスクのパターンを基板に投影露光する投影光学系を有する露光装置に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

従来より、半導体デバイスの製造工程の 1 つであるリソグラフィ工程においては、マスク又はレチクル（以下、レチクルと称する）に形成された回路パターンをレジスト（感光剤）が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に転写する種々の露光装置が用いられている。

【 0 0 0 3 】

例えば、半導体デバイス用の露光装置としては、近年における集積回路の高集積化に伴うパターンの最小線幅（デバイスルール）の微細化に応じて、レチクル

のパターンを投影光学系を用いてウエハ上に縮小転写する縮小投影露光装置が主として用いられている。

【 0 0 0 4 】

この縮小投影露光装置としては、レチクルのパターンをウエハ上の複数のショット領域（露光領域）に順次転写するステップ・アンド・リピート方式の静止露光型の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、このステッパを改良したもので、特開平 8 - 1 6 6 0 4 3 号公報等の開示されるようなレチクルとウエハとを一次元方向に同期移動してレチクルパターンをウエハ上の各ショット領域に転写するステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の露光装置（いわゆるスキヤニング・ステッパ）が知られている。

【 0 0 0 5 】

これらの縮小投影露光装置においては、ステージ装置として、床面に先ず装置の基準になるベースプレートが設置され、その上に床振動を遮断するための防振台を介してレチクルステージ、ウエハステージおよび投影光学系（投影レンズ）等を支持する本体コラムが載置されたものが多く用いられている。最近のステージ装置では、前記防振台として、内圧が制御可能なエアマウントやボイスコイルモータ等のアクチュエータ（推力付与装置）を備え、本体コラム（メインフレーム）に取り付けられた、例えば 6 個の加速度計の計測値に基づいて前記ボイスコイルモータ等の推力を制御することにより本体コラムの振動を制御するアクティブ防振台が採用されている。

【 0 0 0 6 】

ところで、上記のステッパやスキヤニング・ステッパは、ウエハ上のあるショット領域に対する露光の後、他のショット領域に対して順次露光を繰り返すものであるから、ウエハステージ（ステッパの場合）、あるいはレチクルステージおよびウエハステージ（スキヤニング・ステッパの場合）の加速、減速運動によって生じる反力が本体コラムの振動要因となって、投影光学系とウエハ等との相対位置誤差を生じさせ、ウエハ上で設計値と異なる位置にパターンが転写されたり、その位置誤差に振動成分を含む場合には像ボケ（パターン線幅の増大）を招く原因になるという不都合があった。

【 0 0 0 7 】

そこで、従来、上記のようなアクティブ防振台では、例えば特開平 8 - 1 6 6 4 7 5 号公報等に記載されるように、ウエハステージの移動により発生する反力を定盤に対して振動的に独立して配設されたフレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がす発明や、例えば特開平 8 - 3 3 0 2 2 4 号公報等に記載されるように、レチクルステージの移動により発生する反力を定盤に対して振動的に独立して配設されたフレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がす発明が上記の不都合を改善するものとして知られている。

【 0 0 0 8 】

さらに、従来ではレチクルを照明するための照明光学系（を収容する筐体）をフレーム部材で支持していたが、近年では駆動に起因する振動を排除する目的で照明光学系をフレーム部材に支持された部分とフレーム部材と振動的に独立して配置された部分とに、例えば二つに分割し、レチクルの照明領域を設定するために駆動されるブラインドを振動的に独立した部分に配設している。このようにすることで、照明領域設定時に発生する振動が露光精度に悪影響を及ぼすことを回避している。

【 0 0 0 9 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述したような従来の露光装置には、以下のような問題が存在する。

照明光学系が分割して配置されているため、レチクルステージやウエハステージの移動に伴ってフレーム部材が振動的に独立して配置された照明光学系に対して相対移動する可能性がある。逆に、ブラインドの駆動により、振動的に独立して配置された照明光学系がフレーム部材に対して相対移動する可能性がある。

【 0 0 1 0 】

このように、ブラインドとフレーム部材とが露光中に相対移動すると、フレーム部材に支持されたレチクルとブラインドとの相対位置関係が変動することで、レチクルの照明領域が変動し、ウエハ上に露光形成されるパターンの位置精度や重ね合わせ精度が低下する可能性がある。

【 0 0 1 1 】

一方、レチクルと投影光学系との間には、例えばレチクルを照明した照明光を平行光束に変換するための光学系が配置されることがあるが、最近ではウエハ上に露光形成されたパターンの位置ずれには、この光学系の傾き等の位置誤差に起因するものが含まれると考えられている。そのため、この光学系の位置誤差を考慮した露光装置の開発が望まれていた。

【 0 0 1 2 】

本発明は、以上のような点を考慮してなされたもので、パターン位置精度や重ね合わせ精度等の露光精度の向上に寄与する露光装置を提供することを目的とする。

【 0 0 1 3 】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために本発明は、実施の形態を示す図 1 ないし図 1 1 に対応付けした以下の構成を採用している。

本発明の露光装置は、照明光学系（I U）により照明されたマスク（R）のパターンを基板（W）に露光する露光装置（1）において、照明光学系（I U）の少なくとも一部（I U 2）とマスク（R）とを支持する支持部（8）と、マスク（R）の照明領域を設定するとともに、支持部（8）とは振動的に独立して配置された照明領域設定装置（6 2）と、照明光学系（I U）の少なくとも一部（I U 2）と照明領域設定装置（6 2）との相対位置関係を検出する検出装置（6 6）と、検出装置（6 6）の検出結果に基づいて照明領域設定装置（6 2）の位置を調整する調整装置（7 0）とを備えることを特徴とするものである。

【 0 0 1 4 】

従って、本発明の露光装置では、支持部（8）と照明領域設定装置（6 2）とが相対移動したときに、検出装置（6 6）が支持部（8）に支持された照明光学系（I U 2）と照明領域設定装置（6 2）との相対位置関係を検出し、調整装置（7 0）がこの相対位置関係に基づいて照明領域設定装置（6 2）の位置を調整することで、マスク（R）に対する照明領域が変動することなく一定に維持できるので、基板（W）上に露光形成されるパターンの位置精度や重ね合わせ精度が

低下することを未然に防ぐことができる。

【0015】

また、本発明の露光装置は、マスク（R）のパターンを投影光学系（PL）により基板（W）に投影露光する露光装置（1）において、マスク（R）と投影光学系（PL）との間に配設される光学系（69）と、光学系（69）と投影光学系（PL）との相対位置関係を計測する計測装置（72）と、計測装置（72）の計測結果に基づいて基板（W）に投影されるパターン像の位置を調整する調整装置（70）とを備えることを特徴とするものである。

【0016】

従って、本発明の露光装置では、光学系（69）に位置誤差が存在しても計測装置（72）が位置誤差を含む相対位置関係を計測し、調整装置（70）がこの相対位置関係に基づいて基板（W）に投影されるパターン像の位置を調整するので、パターンの位置精度や重ね合わせ精度が低下することを未然に防ぐことができる。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の露光装置の実施の形態を、図1ないし図12を参照して説明する。ここでは、例えば露光装置として、レチクルとウエハとを同期移動しつつ、レチクルに形成された半導体デバイスの回路パターンをウエハ上に転写する、スキャニング・ステッパ（走査型露光装置）を使用する場合の例を用いて説明する。また、この露光装置においては、本発明のステージ装置をウエハステージに適用するものとする。

【0018】

図1に示す露光装置1は、光源LS（図2参照）からの露光用照明光によりレチクル（マスク）R上の矩形状（あるいは円弧状）の照明領域を均一な照度で照明する照明光学系IUと、レチクルRを保持して移動するレチクルステージ（マスクステージ）2および該レチクルステージ2を支持するレチクル定盤3を含むステージ装置4と、レチクルRから射出される照明光をウエハ（基板）W上に投影する投影光学系PLと、ウエハWを保持して移動するウエハステージ（基板ス

テージ、ステージ本体) 5 および該ウエハステージ 5 を保持するウエハ定盤 (定盤) 6 を含むステージ装置 7 と、上記ステージ装置 4 および投影光学系 PL を支持するリアクションフレーム 8 とから概略構成されている。なお、ここで投影光学系 PL の光軸方向を Z 方向とし、この Z 方向と直交する方向でレチクル R とウエハ W の同期移動方向を Y 方向とし、非同期移動方向を X 方向とする。また、それぞれの軸周りの回転方向を θZ 、 θY 、 θX とする。

【0019】

光源 LS としては、ここでは波長 192 ~ 194 nm の間で酸素の吸収帯を避けるように狭帯化されたパルス紫外光を出力する ArF エキシマレーザ光源が用いられており、この光源 LS の本体は、半導体製造工場のクリーンルーム内の床面 FD 上に設置されている。光源 LS には、不図示の光源制御装置が併設されており、この光源制御装置では、射出されるパルス紫外光の発振中心波長及びスペクトル半値幅の制御、パルス発振のトリガ制御、レーザチャンバ内のガスの制御等を行うようになっている。なお、光源 LS として、波長 248 nm のパルス紫外光を出力する KrF エキシマレーザ光源あるいは波長 157 nm のパルス紫外光を出力する F₂ レーザ光源等用いても良い。また、光源 LS をクリーンルームよりクリーン度が低い別の部屋 (サービスルーム)、あるいはクリーンルームの床下に設けられるユーティリティスペースに設置しても構わない。

【0020】

図 2 に示すように、光源 LS は、図 2 では作図の都合上その図示が省略されているが、実際には遮光性のベローズ及びパイプを介してビームマッチングユニット BMU の一端 (入射端) に接続されており、このビームマッチングユニット BMU の他端 (出射端) は、内部にリレー光学系を内蔵したパイプ 61 を介して照明光学系 IU の第 1 照明光学系 IU1 に接続されている。ビームマッチングユニット BMU 内には、リレー光学系や複数の可動反射鏡等 (いずれも不図示) が設けられており、これらの可動反射鏡等を用いて光源 LS から入射する狭帯化されたパルス紫外光 (ArF エキシマレーザ光) の光路を第 1 照明光学系 IU1 との間で位置的にマッチングさせている。

【0021】

照明光学系 I U は、第 1 照明光学系 I U 1 と第 2 照明光学系 I U 2 との 2 部分から構成されている。第 1 照明光学系 I U 1 は、床面 F D に水平に載置された装置の基準となるフレームキャスタと呼ばれるベースプレート 1 0 上に設置されている。また、第 2 照明光学系 I U 2 は、リアクションフレーム（支持部）8 の上面に固定された支持コラム 9 によって下方から支持されている。従って、第 1 照明光学系 I U 1 とリアクションフレーム 8 （すなわち第 2 照明光学系 I U 2 ）とは振動的に独立した構成になっている。

【 0 0 2 2 】

第 1 照明光学系 I U 1 は、所定の位置関係で配置されたミラー、可変減光器、ビーム成形光学系、オプティカルインテグレータ、集光光学系、振動ミラー、照明系開口絞り板、ビームスプリッタ、リレーレンズ系、及びレチクルブラインド機構を構成する可動視野絞りとしての可動レチクルブラインド（照明領域設定装置）6 2 等を備えている。光源 L S からのパルス紫外光がビームマッチングユニット B M U 及びリレー光学系を介して第 1 照明光学系 I U 1 内に水平に入射すると、このパルス紫外光は、可変減光器の N D フィルタにより所定のピーク強度に調整された後、ビーム整形光学系により、オプティカルインテグレータに効率よく入射するようにその断面形状が整形される。

【 0 0 2 3 】

次いで、このパルス紫外光がオプティカルインテグレータに入射すると、射出端側に面光源、すなわち多数の光源像（点光源）から成る 2 次光源が形成される。これらの多数の点光源の各々から発散するパルス紫外光は、照明系開口絞り板 2 8 G 上のいずれかの開口絞りを通過した後、露光光として可動レチクルブラインド 6 2 に到達する。

【 0 0 2 4 】

可動レチクルブラインド 6 2 は、図 3 に示すように、2 枚の L 字型の可動ブレードと、この可動ブレードを駆動するアクチュエータ 6 3 とを有する。2 枚の可動ブレードは、レチクル R の走査方向に対応する方向及び走査方向に直交する非走査方向に対応する方向の位置が可変となっている。この可動レチクルブラインド 6 2 は、不要な部分の露光を防止するため、走査露光の開始時及び終了時に可

動ブレードにより後述するように固定レチクルブラインドによって規定されるレチクルR上の照明領域を更に制限するために用いられる。この可動レチクルブラインド62の駆動は、調整装置としての後述する主制御装置70によって制御される（図6参照）。

【0025】

第2照明光学系IU2は、照明系ハウジング64と、該照明系ハウジング64内に所定の位置関係で収納された固定レチクルブラインド、レンズ、ミラー、リレーレンズ系、メインコンデンサレンズ等（いずれも不図示）を備えている。固定レチクルブラインドは、照明系ハウジング64の入射端近傍のレチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域を規定する所定形状の開口部が形成されている。この固定レチクルブラインドの開口部は、投影光学系PLの円形視野内の中央で走査露光時のレチクルRの移動方向（Y軸方向）と直交したX軸方向に直線的に伸びたスリット状又は矩形状に形成されているものとする。

【0026】

可動レチクルブラインド62のブレードの開口部を通過したパルス紫外光は、固定レチクルブラインドの開口部を一様な強度分布で照明する。固定レチクルブラインドの開口部を通ったパルス紫外光は、レンズ、ミラーM3、リレーレンズ系、主コンデンサレンズ系を経て、レチクルステージ2上に保持されたレチクルR上の所定の照明領域（X軸方向に直線的に伸びたスリット状又は矩形状の照明領域）を均一な照度分布で照明する。ここで、レチクルRに照射される矩形スリット状の照明光は、図2中の投影光学系PLの円形投影視野の中央にX軸方向（非走査方向）に細長く延びるように設定され、その照明光のY軸方向（走査方向）の幅はほぼ一定に設定されている。

【0027】

なお、第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2とを強固に接合すると、可動レチクルブラインド62の駆動に起因して露光動作中に第1照明光学系IU1に生じる振動がリアクションフレーム8に支持された第2照明光学系IU2にそのまま伝達されることとなって、好ましくない。このため、本実施形態では、

第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2との間は、両者の相対変位を可能にし、かつその内部を外気に対して気密状態にすることが可能な接続部材としての伸縮自在の蛇腹状部材65を介して接合されている。

【0028】

また、第1照明光学系IU1には、第2照明光学系IU2の近傍、具体的には可動レチクルブラインド62の近傍に位置して、光電センサ等の位置センサ（検出装置）66が配置されている。位置センサ66は、可動レチクルブラインド62と第2照明光学系IU2のIU1側の端部（例えば固定レチクルブラインド）との相対距離（相対位置関係）をX軸およびY軸で規定される2次元平面で検出するものであって、その検出結果は主制御装置70に出力される（図6参照）。

【0029】

図1に戻り、リアクションフレーム8は、床面に水平に載置されたベースプレート10上に設置されており、その上部側および下部側には、内側に向けて突出する段部8aおよび8bがそれぞれ形成されている。

【0030】

ステージ装置4の中、レチクル定盤3は、各コーナーにおいてリアクションフレーム8の段部8aに防振ユニット11を介してほぼ水平に支持されており（なお、紙面奥側の防振ユニットについては図示せず）、その中央部にはレチクルRに形成されたパターン像が通過する開口3aが形成されている。なお、レチクル定盤3の材料として金属やセラミックスを用いることができる。防振ユニット11は、内圧が調整可能なエアマウント12とレチクル定盤3に対して推力を付与するボイスコイルモータ13とが段部8a上に直列に配置された構成になっている。これら防振ユニット11によって、ベースプレート10およびリアクションフレーム8を介してレチクル定盤3に伝わる微振動がマイクロGレベルで絶縁されるようになっている（Gは重力加速度）。

【0031】

レチクル定盤3上には、レチクルステージ2が該レチクル定盤3に沿って2次元的に移動可能に支持されている。レチクルステージ2の底面には、非接触ベアリングとして複数のエアベアリング（エアパッド）14が固定されており、これ

らのエアベアリング 1 4 によってレチクルステージ 2 がレチクル定盤 3 上に数ミクロン程度のクリアランスを介して浮上支持されている。また、レチクルステージ 2 の中央部には、レチクル定盤 3 の開口 3 a と連通し、レチクル R のパターン像が通過する開口 2 a が形成されている。また、このレチクル定盤 3 上には、複数（例えば 3 つ、図 1 では 1 つのみ図示）の加速度計 7 5 が設けられている。加速度計 7 5 の計測結果は後述する主制御装置 7 0 に出力される（図 6 参照）。

【 0 0 3 2 】

レチクルステージ 2 について詳述すると、図 4 に示すように、レチクルステージ 2 は、レチクル定盤 3 上を一对の Y リニアモータ 1 5、1 5 によって Y 軸方向に所定ストロークで駆動されるレチクル粗動ステージ 1 6 と、このレチクル粗動ステージ 1 6 上を一对の X ボイスコイルモータ 1 7 X と一对の Y ボイスコイルモータ 1 7 Y とによって X、Y、 θ Z 方向に微小駆動されるレチクル微動ステージ 1 8 とを備えた構成になっている（なお、図 1 では、これらを 1 つのステージとして図示している）。

【 0 0 3 3 】

各 Y リニアモータ 1 5 は、レチクル定盤 3 上に非接触ベアリングである複数のエアベアリング（エアパッド） 1 9 によって浮上支持され Y 軸方向に延びる固定子 2 0 と、この固定子 2 0 に対応して設けられ、連結部材 2 2 を介してレチクル粗動ステージ 1 6 に固定された可動子 2 1 とから構成されている。このため、運動量保存の法則により、レチクル粗動ステージ 1 6 の + Y 方向の移動に応じて、固定子 2 0 は - Y 方向に移動する。この固定子 2 0 の移動によりレチクル粗動ステージ 1 6 の移動に伴う反力を相殺するとともに、重心位置の変化を防ぐことができる。

【 0 0 3 4 】

なお、固定子 2 0 は、レチクル定盤 3 上に代えて、リアクションフレーム 8 に設けてもよい。固定子 2 0 をリアクションフレーム 8 に設ける場合には、エアベアリング 1 9 を省略し、固定子 2 0 をリアクションフレーム 8 に固定して、レチクル粗動ステージ 1 6 の移動により固定子 2 0 に作用する反力をリアクションフレーム 8 を介して床に逃がしてもよい。

【 0 0 3 5 】

レチクル粗動ステージ 1 6 は、レチクル定盤 3 の中央部に形成された上部突出部 3 b の上面に固定され Y 軸方向に延びる一対の Y ガイド 5 1、5 1 によって Y 軸方向に案内されるようになっている。また、レチクル粗動ステージ 1 6 は、これら Y ガイド 5 1、5 1 に対して不図示のエアベアリングによって非接触で支持されている。

【 0 0 3 6 】

レチクル微動ステージ 1 8 には、不図示のバキュームチャックを介してレチクル R が吸着保持されるようになっている。レチクル微動ステージ 1 8 の - Y 方向の端部には、コーナキューブからなる一対の Y 移動鏡 5 2 a、5 2 b が固定され、また、レチクル微動ステージ 1 8 の + X 方向の端部には、Y 軸方向に延びる平面ミラーからなる X 移動鏡 5 3 が固定されている。そして、これら移動鏡 5 2 a、5 2 b、5 3 に対して測長ビームを照射する 3 つのレーザ干渉計（ここではレーザ干渉計 6 7 のみ図示）が各移動鏡の反射面と投影光学系 P L の鏡筒上端に固定された参照鏡 6 8 とに向けてそれぞれレーザ光を照射するとともに、その反射光と入射光との干渉に基づいて、移動鏡と参照鏡との相対変位を計測することにより、レチクルステージ 2（ひいてはレチクル R）の X、Y、 θ Z（Z 軸回りの回転）方向の位置が所定の分解能、例えば 0.5 ~ 1 nm 程度の分解能でリアルタイムに計測される。なお、レチクル微動ステージ 1 8 の材質としては、高剛性且つ低熱膨張の材料が好ましく、金属やコージェライトまたは SiC からなるセラミックスを用いることができる。

【 0 0 3 7 】

図 1 に戻り、投影光学系 P L として、ここでは物体面（レチクル R）側と像面（ウェハ W）側の両方がテレセントリックで円形の投影視野を有し、石英や蛍石を光学硝材とした屈折光学素子（レンズ素子）からなる 1/4（または 1/5）縮小倍率の屈折光学系が使用されている。このため、レチクル R に照明光が照射されると、レチクル R 上の回路パターンのうち、照明光で照明された部分からの結像光束が光学系 6 9（後述）を介して投影光学系 P L に入射し、その回路パターンの部分倒立像が投影光学系 P L の像面側の円形視野の中央にスリット状に制

限されて結像される。これにより、投影された回路パターンの部分倒立像は、投影光学系 P L の結像面に配置されたウエハ W 上の複数のショット領域のうち、1 つのショット領域表面のレジスト層に縮小転写される。

【 0 0 3 8 】

この投影光学系 P L とレチクル R との間には、レチクル R を照明して透過した露光光をテレセントリックな平行光束として投影光学系 P L に入射する光学系 6 9 が配設されている。光学系（例えばガラス）6 9 は、板バネやコイルスプリング等のバネ定数が小さい弾性部材 7 1 を介して投影光学系 P L の鏡筒に支持されている。また、光学系 6 9 の露光光透過領域外には、加速度計（計測装置）7 2 が 3 つ（図 1 では 2 つのみ図示）配置されている。加速度計 7 2 は、光学系 6 9 に作用する加速度を計測することで、光学系 6 9 と投影光学系 P L との相対的な傾き（相対位置関係）を計測するものであって、その計測結果は調整装置としての主制御装置 7 0 に出力される（図 6 参照）。

【 0 0 3 9 】

一方、投影光学系 P L の鏡筒部の外周には、該鏡筒部に一体化されたフランジ 2 3 が設けられている。そして、投影光学系 P L は、リアクションフレーム 8 の段部 8 b に防振ユニット 2 4 を介してほぼ水平に支持された鋳物等で構成された鏡筒定盤 2 5 に、光軸方向を Z 方向として上方から挿入されるとともに、フランジ 2 3 が係合している。なお、鏡筒定盤 2 5 として、高剛性・低熱膨張のセラミックス材を用いてもよい。

【 0 0 4 0 】

フランジ 2 3 の素材としては、低熱膨張の材質、例えばインバー（Inver；ニッケル 36%、マンガン 0.25%、および微量の炭素と他の元素を含む鉄からなる低膨張の合金）が用いられている。このフランジ 2 3 は、投影光学系 P L を鏡筒定盤 2 5 に対して点と面と V 溝とを介して 3 点で支持する、いわゆるキネマティック支持マウントを構成している。このようなキネマティック支持構造を採用すると、投影光学系 P L の鏡筒定盤 2 5 に対する組み付けが容易で、しかも組み付け後の鏡筒定盤 2 5 および投影光学系 P L の振動、温度変化等に起因する応力を最も効果的に軽減できるという利点がある。

【 0 0 4 1 】

防振ユニット 2 4 は、鏡筒定盤 2 5 の各コーナーに配置され（なお、紙面奥側の防振ユニットについては図示せず）、内圧が調整可能なエアマウント 2 6 と鏡筒定盤 2 5 に対して推力を付与するボイスコイルモータ 2 7 とが段部 8 b 上に直列に配置された構成になっている。これら防振ユニット 2 4 によって、ベースプレート 1 0 およびリアクションフレーム 8 を介して鏡筒定盤 2 5（ひいては投影光学系 P L）に伝わる微振動がマイクロ G レベルで絶縁されるようになっている。

【 0 0 4 2 】

この鏡筒定盤 2 5 上には、複数（例えば 3 つ、図 1 では 1 つのみ図示）の加速度計 7 3 がウエハ定盤 6 との相対速度検出用の検出装置として設けられている。加速度計 7 3 の計測結果はウエハステージ 5 の駆動制御装置としての主制御装置 7 0 に出力される（図 6 参照）。主制御装置 7 0 は、加速度計 7 3 の出力に基づき防振ユニット 2 4 を駆動することで投影光学系 P L に対する振動を制御するが、その詳細については後述する。

【 0 0 4 3 】

ステージ装置 7 は、図 1 から明らかなように、ステージ装置 4 と投影光学系 P L とから分離してベースプレート 1 0 上に設けられている。ステージ装置 7 は、ウエハステージ 5、このウエハステージ 5 を X Y 平面に沿った 2 次元方向に移動可能に支持するウエハ定盤 6、ウエハステージ 5 と一体的に設けられウエハ W を吸着保持する試料台 S T、これらウエハステージ 5 および試料台 S T を相対移動自在に支持する X ガイドバー X G を主体に構成されている。ウエハステージ 5 の底面には、非接触ベアリングである複数のエアベアリング（エアパッド） 2 8 が固定されており、これらのエアベアリング 2 8 によってウエハステージ 5 がウエハ定盤 6 上に、例えば数ミクロン程度のクリアランスを介して浮上支持されている。

【 0 0 4 4 】

ウエハ定盤 6 は、ベースプレート 1 0 の上方に、防振ユニット 2 9 を介してほぼ水平に支持されている。防振ユニット 2 9 は、ウエハ定盤 6 の各コーナーに配

置され（なお、紙面奥側の防振ユニットについては図示せず）、内圧が調整可能なエアマウント 3 0 とウエハ定盤 6 に対して推力を付与するボイスコイルモータ（推力付与装置）3 1 とがベースプレート 1 0 上に並列に配置された構成になっている。これら防振ユニット 2 9 によって、ベースプレート 1 0 を介してウエハ定盤 6 に伝わる微振動がマイクロ G レベルで絶縁されるようになっている。なお、ウエハ定盤 6 のベースプレート 1 0 （床）に対する相対位置は、位置センサ 7 8 で検出され主制御系 7 0 に出力される（図 6 参照）。

【 0 0 4 5 】

このウエハ定盤 6 上には、複数（例えば 3 つ、図 1 では 1 つのみ図示）の加速度計 7 4 が鏡筒定盤 2 5 （投影光学系 P L）との相対速度検出用の検出装置、およびウエハ定盤 6 の振動特性を検出するための振動検出装置として設けられている。加速度計 7 4 の計測結果はウエハステージ 5 の駆動制御装置としての主制御装置 7 0 に出力される（図 6 参照）。主制御装置 7 0 は、加速度計 7 4 の出力に基づき防振ユニット 2 9 を駆動することで投影光学系 P L に対する振動を制御するが、その詳細については後述する。

【 0 0 4 6 】

図 5 に示すように、X ガイドバー X G は、X 方向に沿った長尺形状を呈しており、その長さ方向両端には電機子ユニットからなる可動子 3 6、3 6 がそれぞれ設けられている。これらの可動子 3 6、3 6 に対応する磁石ユニットを有する固定子 3 7、3 7 は、ベースプレート 1 0 に突設された支持部 3 2、3 2 に設けられている（図 1 参照、なお図 1 では可動子 3 6 および固定子 3 7 を簡略して図示している）。そして、これら可動子 3 6 および固定子 3 7 によってムービングコイル型のリニアモータ 3 3、3 3 が構成されており、可動子 3 6 が固定子 3 7 との間の電磁氣的相互作用により駆動されることで、X ガイドバー X G は Y 方向に移動するとともに、リニアモータ 3 3、3 3 の駆動を調整することで θ Z 方向に回転移動する。すなわち、このリニアモータ 3 3 によって X ガイドバー X G とほぼ一体的にウエハステージ 5（および試料台 S T、以下単にウエハステージ 5 と称する）が Y 方向および θ Z 方向に駆動されるようになっている。なお、ウエハステージ 5 は、Y 方向の移動にはガイド部材を有さないガイドレスステージとな

っているが、ウエハステージ5のX方向の移動に関しても適宜ガイドレスステージとすることができる。

【0047】

ウエハステージ5は、XガイドバーXGとの間にZ方向に所定量のギャップを維持する磁石およびアクチュエータからなる磁気ガイドを介して、XガイドバーXGにX方向に相対移動自在に非接触で支持・保持されている。また、ウエハステージ5は、XガイドバーXGに埋設された固定子35aを有するXリニアモータ35による電磁氣的相互作用によりX方向に駆動される。なお、Xリニアモータの可動子は図示していないが、ウエハステージ5に取り付けられている。

【0048】

ウエハステージ5の上面には、ウエハホルダ41を介してウエハWが真空吸着等によって固定される（図1参照、図5では図示略）。また、ウエハステージ5のX方向の位置は、投影光学系PLの鏡筒下端に固定された参照鏡42を基準として、ウエハステージ5の一部に固定された移動鏡43の位置変化を計測するレーザ干渉計44によって所定の分解能、例えば0.5～1nm程度の分解能でリアルタイムに計測される。なお、上記参照鏡42、移動鏡43、レーザ干渉計44とほぼ直交するように配置された不図示の参照鏡、レーザ干渉計および移動鏡48（図5参照）によってウエハステージ5のY方向の位置が計測される。なお、これらレーザ干渉計の中、少なくとも一方は、測長軸を2軸以上有する多軸干渉計であり、これらレーザ干渉計の計測値に基づいてウエハステージ5（ひいてはウエハW）のXY位置のみならず、 θ 回転量あるいはこれらに加え、レベリング量をも求めることができるようになっている。

【0049】

また、XガイドバーXGの-X方向側には、ボイスコイルモータで構成されたXトリムモータ（反力伝達装置）34の可動子34aが取り付けられている。Xトリムモータ34は、Xリニアモータ35の固定子としてのXガイドバーXGとリアクションフレーム8との間に介装され、その固定子34bはリアクションフレーム8に設けられている。このため、ウエハステージ5をX方向に駆動する際の反力は、Xトリムモータ34によりリアクションフレーム8に伝達され、さら

にリアクションフレーム 8 を介してベースプレート 1 0 に伝達される。

【 0 0 5 0 】

さらに、投影光学系 P L のフランジ 2 3 には、異なる 3 カ所に 3 つのレーザ干渉計 4 5 が、ウエハ定盤 6 との Z 方向の相対位置を検出するための検出装置として固定されている（ただし、図 1 においてはこれらのレーザ干渉計のうち 1 つが代表的に示されている）。各レーザ干渉計 4 5 に対向する鏡筒定盤 2 5 の部分には、開口 2 5 a がそれぞれ形成されており、これらの開口 2 5 a を介して各レーザ干渉計 4 5 から Z 方向のレーザビーム（測長ビーム）がウエハ定盤 6 に向けて照射される。ウエハ定盤 6 の上面の各測長ビームの対向位置には、反射面がそれぞれ形成されている。このため、上記 3 つのレーザ干渉計 4 5 によってウエハ定盤 6 の異なる 3 点の Z 位置がフランジ 2 3 を基準としてそれぞれ計測される（ただし、図 1 においては、ウエハステージ 5 上のウエハ W の中央のショット領域が投影光学系 P L の光軸の直下にある状態が示されているため、測長ビームがウエハステージ 5 で遮られた状態になっている）。なお、ウエハステージ 5 の上面に反射面を形成して、この反射面上の異なる 3 点の Z 方向位置を投影光学系 P L またはフランジ 2 3 を基準として計測する干渉計を設けてもよい。

【 0 0 5 1 】

また、上述したように、レチクル定盤 3、鏡筒定盤 2 5、ウエハ定盤 6 には、それぞれ各定盤の Z 方向の振動を計測する 3 つの加速度計 7 5、7 3、7 4 が振動センサ群として取り付けられているが、さらに、各定盤には X Y 面内方向の振動を計測する 3 つの振動センサ（例えば加速度計；不図示）がそれぞれ取り付けられている。これらの振動センサのうち 2 つは、各定盤の Y 方向の振動を計測し、残りの振動センサは X 方向の振動を計測するものである（以下、便宜上これらの振動センサを振動センサ群 7 7 と称する；図 6 参照）。そして、これらの加速度計 7 3～7 5、振動センサ群 7 7 の計測値に基づいて、主制御装置 7 0 がレチクル定盤 3、ウエハ定盤 6、鏡筒定盤 2 5 の 6 自由度（X、Y、Z、 θ X、 θ Y、 θ Z）の振動をそれぞれ求めることができる構成になっている。

【 0 0 5 2 】

図 6 に露光装置 1 の制御系を示す。この図に示すように、位置センサ、加速度

計、振動センサ群、レーザ干渉計の各種計測装置の計測結果は主制御装置 7 0 に出力される。そして、主制御装置 7 0 は、これら計測装置の計測結果に基づいて各種演算処理を行い、その結果に基づきレチクル駆動用リニアモータ、ウエハ駆動用リニアモータ、ウエハ駆動用トリムモータ、可動レチクルブラインド駆動用アクチュエータ、防振ユニット等を統括的に制御する。また、主制御装置 7 0 には、ウエハ定盤 6 の振動パターン（振動特性）をマップとして記憶する記憶装置 7 6 が付設されている。

【 0 0 5 3 】

次に、上記のように構成されたステージ装置および露光装置による露光処理の動作について説明する。

まず、露光処理に先立って、ウエハステージ 5 の位置に応じたウエハ定盤 6 の振動特性を求めるとともに、ウエハステージ 5 の位置に応じたステージ装置 7 の重心位置と慣性主軸とを求める。ウエハ定盤 6 の振動特性を求めるには、ウエハステージ 5 を例えばウエハ定盤 6 上の - X 側端部近傍、中央部近傍、+ X 側端部近傍（それぞれ図 1 中、右側、中央、左側）に位置させる。そして、その位置でウエハステージ 5 を移動させ、この移動に伴う振動を加速度計 7 4 および振動センサ群 7 7 により検出して記憶装置 7 6 に記憶する。

【 0 0 5 4 】

このときに検出される回転方向成分の加速度出力を図 7 に示す。図 7 (a) はウエハ定盤 6 の - X 側で検出された加速度出力であり、(b) は中央部で検出された加速度出力であり、(c) は + X 側で検出された加速度出力である。主制御装置 7 0 は、得られた加速度の出力パターンを相殺（減衰）する加速度出力パターン（推力パターン）のマップと、ウエハステージ 5 の位置に応じた補正係数とを設定し記憶装置 7 6 に記憶する。なお、マップ設定の際のウエハステージ 5 の移動パターンは実露光時に行われる行程と同一で実行する。

【 0 0 5 5 】

また、ステージ装置 7 における重心位置と慣性主軸とを求めるには、ウエハステージ 5 を前述の - X 側端部近傍、中央部近傍、+ X 側端部近傍のそれぞれの位置で停止させるとともに、例えば主制御部 7 0 が防振ユニット 2 9 のボイスコイ

ルモータ 3 1 を駆動してウエハ定盤 6 にインパルス波形のダミー振動を与える。この振動を振動センサ群 7 7 と加速度計 7 4 とが検出した結果に基づいて、主制御装置 7 0 が所定の演算シーケンスを実行することで、ウエハステージ 5 の位置に応じたステージ装置 7 の慣性系における重心位置と慣性主軸とを求めて同定することができる。そして、上記の同定処理により、この重心位置 P と慣性主軸 ξ 、 η 、 ζ とを求めることができる。なお、ウエハ定盤 6 に対する加振は、ボイスコイルモータの駆動ではなく、ウエハステージ 5 の駆動で行ってもよい。また、ウエハステージ 5 の測定箇所は、前述の 3 箇所だけではなく任意の位置で求めることができる。

【 0 0 5 6 】

このように、推力マップ、重心位置、および慣性系の慣性主軸を求めた後に、露光処理を実施する。ここでは、予め、ウエハ W 上のショット領域を適正露光量（目標露光量）で走査露光するための各種の露光条件が設定されているものとする。そして、いずれも不図示のレチクル顕微鏡およびオフアクシス・アライメントセンサ等を用いたレチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業が行われ、その後アライメントセンサを用いたウエハ W のファインアライメント（E G A ; エンハンスト・グローバル・アライメント等）が終了し、ウエハ W 上の複数のショット領域の配列座標が求められる。

【 0 0 5 7 】

このようにして、ウエハ W の露光のための準備動作が完了すると、アライメント結果に基づいてレーザ干渉計 4 4 の計測値をモニタしつつ、リニアモータ 3 3、3 5 を制御してウエハ W の第 1 ショットの露光のための走査開始位置にウエハステージ 5 を移動する。そして、リニアモータ 1 5、3 3 を介してレチクルステージ 2 とウエハステージ 5 との Y 方向の走査を開始し、両ステージ 2、5 がそれぞれの目標走査速度に達すると、可動レチクルブラインド 6 2 で設定された照明光学系 I U からの露光用照明光により、レチクル R 上の所定の矩形状の照明領域が均一な照度で照明される。この照明領域に対してレチクル R が Y 方向に走査されるのに同期して、この照明領域と投影光学系 P L に関して共役な露光領域に対してウエハ W を走査する。

【 0 0 5 8 】

ここで、可動レチクルブラインド62においては、可動ブレードを移動させることで、露光前等の露光を実施しないときに照明光を遮光し、両ステージ2、5、すなわちレチクルRおよびウエハWが露光位置へそれぞれ到達して露光を実施するときに開口を形成し所定の照明領域を設定する。これにより、光源LSから照射された照明光は可動ブレードの開口で設定された矩形状の領域でレチクルRを照明する。

【 0 0 5 9 】

そして、レチクルRのパターン領域を透過した照明光が投影光学系PLにより1/4倍に縮小され、レジストが塗布されたウエハW上に照射される。そして、ウエハW上の露光領域には、レチクルRのパターンが逐次転写され、1回の走査でレチクルR上のパターン領域の全面がウエハW上のショット領域に転写される。この走査露光時には、レチクルステージ2のY方向の移動速度と、ウエハステージ5のY方向の移動速度とが投影光学系PLの投影倍率（1/5倍あるいは1/4倍）に応じた速度比に維持されるように、リニアモータ15、33を介してレチクルステージ2およびウエハステージ5を同期制御する。

【 0 0 6 0 】

レチクルステージ2の走査方向の加減速時の反力は、固定子20の移動により吸収され、ステージ装置4における重心の位置がY方向において実質的に固定される。また、レチクルステージ2と固定子20とレチクル定盤3との3者間の摩擦が零でなかったり、レチクルステージ2と固定子20との移動方向が僅かに異なる等の理由で、レチクル定盤3の6自由度方向の微少な振動が残留した場合にも、振動センサ群77や加速度計75の計測値に基づいて上記残留振動を除去すべく、エアマウント12およびボイスコイルモータ13をフィードバック制御する。

【 0 0 6 1 】

また、鏡筒定盤25においては、レチクルステージ2、ウエハステージ5の移動による微振動が発生しても、主制御装置70が鏡筒定盤25に設けられた振動センサ群77や加速度計73の計測値に基づいて6自由度方向の振動を求め、エ

アマウント 2 6 およびボイスコイルモータ 2 7 をフィードバック制御することによりこの微振動をキャンセルして、鏡筒定盤 2 5 を定常的に安定した位置に維持することができる。

【 0 0 6 2 】

同様に、ステージ装置 7 では、主制御装置 7 0 がレーザ干渉計 4 4 等の計測値に基づいて、ウエハステージ 5 の移動に伴う重心の変化による影響をキャンセルするカウンターフォースを防振ユニット 2 9 に対してフィードフォワードで与え、この力を発生するようにエアマウント 3 0 およびボイスコイルモータ 3 1 を駆動する。また、ウエハステージ 5 とウエハ定盤 6 との摩擦が零でない等の理由で、ウエハ定盤 6 の 6 自由度方向の微少な振動が残留した場合にも、振動センサ群 7 7 や加速度計 7 4 の計測値に基づいて上記残留振動を除去すべく、エアマウント 3 0 およびボイスコイルモータ 3 1 をフィードバック制御する。このボイスコイルモータ 3 1 の駆動に関して主制御装置 7 0 は、予め検出したウエハステージ 5 の位置に応じた重心位置および慣性系の慣性主軸の座標系における推力に変換してボイスコイルモータ 3 1 を駆動する。これにより、ウエハ定盤 6 に対しては設計値ではなく、真の慣性主軸の座標系における適切な推力が付与され、より正確で効果的な制振を実施できる。

【 0 0 6 3 】

さらに、ボイスコイルモータ 3 1 の駆動に際して主制御装置 7 0 は、記憶装置 7 6 に記憶されている加速度出力パターンのマップに対して、ウエハ定盤 6 におけるウエハステージ 6 の位置に応じて補正係数で補正し、この補正したマップに基づいてボイスコイルモータ 3 1 を駆動する。また、ボイスコイルモータ 3 1 を駆動してもさらに残留振動が存在する場合は、この残留振動を減衰させるように補正係数を設定してマップに基づいた推力をボイスコイルモータ 3 1 を駆動させる。このときの制御ループを図 9 に示す。このように、予め検出したマップと補正係数とを用いて、ステージ装置 7 におけるボイスコイルモータ 3 1 の推力をフィードフォワードで推力指令値として出力しているので、残留振動を短時間で効果的に減衰できる。

【 0 0 6 4 】

なお、加速度出力パターンのマップは、必ずしも露光処理前に作成する必要はなく、実機におけるウエハステージ5の駆動に基づいて作成されるのであれば、プロセス処理中に作成して、随時更新するような構成としてもよい。例えば、露光処理中に、図7(a)において二点鎖線で示す加速度出力が得られた場合は、出力差 ε を用いてマップを修正すればよい。また、ステージ装置7(ウエハ定盤6)に関して、マップを用いた推力調整について説明したが、レチクル定盤3や鏡筒定盤25に対しても、予めマップを作成し、マップと補正係数とを用いてレチクルステージ2やウエハステージ5の位置に応じてボイスコイルモータの推力を調整することができる。

【0065】

さらに、ステージ移動に伴う振動制御および露光処理制御について詳述する。

上記レチクルステージ2およびウエハステージ5の移動によりリアクションフレーム8に振動が発生する可能性がある。特に、ウエハステージ5のX方向の移動に伴う反力は、Xトリムモータ34を介してリアクションフレーム8に伝達されるため、リアクションフレーム8の残留振動により支持コラム9を介して第2照明光学系IU2が第1照明光学系IU1に対して振動(相対移動)する可能性がある。また、レチクルRへの照明領域設定のために可動レチクルブラインド62がアクチュエータ63を介して駆動されると、この駆動に伴い発生した振動により、第1照明光学系IU1が第2照明光学系IU2に対して振動(相対移動)する可能性がある。

【0066】

このとき、主制御装置70は、位置センサ66が検出した可動レチクルブラインド62と第2照明光学系IU2との相対距離に応じて、アクチュエータ63を介して可動ブレードをX方向およびY方向のそれぞれに関して移動させる。これにより、第1照明光学系IU1と第2照明光学系IU2とが相対移動するような振動が発生した場合でも、可動レチクルブラインド62と第2照明光学系IU2との相対位置関係、すなわちレチクルRに対する照明領域が変動することなく所定位置に維持される。なお、可動レチクルブラインド62をZ方向に移動させるアクチュエータを設け、Z方向に関する相対位置関係を補正するようにしてもよ

い。

【0067】

また、投影光学系 P L の微振動等により、光学系 69 が投影光学系 P L (の光軸) に対して傾く (チルト) 場合がある。この場合、レチクル R を透過した露光光は、光学系 69 を透過することにより、光学系 69 の傾きに応じて投影光学系 P L の光軸に対して傾いた平行光束で入射する。この結果、レチクル R のパターン像は、ウエハ W 上で所定位置からシフトした位置で結像することになる。そのため、主制御装置 70 は、加速度計 72 が計測した光学系 69 と投影光学系 P L との相対的な傾きから、ウエハ W 上に結像するパターンのシフト量を算出し、このシフト量を補正するようにレチクルステージ 2 を駆動する。具体的には、レチクルステージ 2 に対する駆動量に対して、シフト量に対応するオフセット値を持たせる。これにより、ウエハ W 上に結像するパターン像位置が所定位置に補正される。なお、光学系 69 と投影光学系 P L との相対位置関係を計測する手段としては加速度計の他に、レーザ干渉計等、相対距離を計測する計測装置を用いてもよい。また、ウエハ W 上に結像するパターンのシフト量を補正するためには、レチクルステージ 2 の駆動量にオフセット値を持たせる他に、ウエハステージ 5 の駆動量にシフト量に対応するオフセット値を持たせてもよい。

【0068】

また、上記走査露光に関しては鏡筒定盤 25 とウエハ定盤 6 とを、すなわち投影光学系 P L とウエハ W とを速度制御系により追従させている。この制御ループを図 10 に示す。この図において符号 S 1 は投影光学系 P L (すなわち鏡筒定盤 25、防振ユニット 24) に関する制御ループ (制御系) であり、符号 S 2 はウエハ W (すなわちウエハ定盤 6、防振ユニット 29) に関する制御ループ (制御系) である。また、制御系 S 1 における二点鎖線は、鏡筒定盤 25、防振ユニット 24 を示すプラント部であり、制御系 S 2 における二点鎖線は、ウエハ定盤 6、防振ユニット 29 を示すプラント部である。

【0069】

この図に示すように、制御系 S 1 は、加速度計 73 の検出した加速度を積分 (演算処理) して得られる速度による速度サーボを形成する速度制御ループ S R 1

をマイナーループとし、位置センサ 7 8 の計測結果に基づいて速度制御ループ S R 1 を制御する位置制御ループ P R 1 をメインループとするカスケード型の制御系で構成されている。同様に、制御系 S 2 は、加速度計 7 4 の検出した加速度を積分して得られる速度による速度サーボを形成する速度制御ループ S R 2 をマイナーループとし、レーザ干渉計 4 5 の計測結果に基づいて速度制御ループ S R 2 を制御する位置制御ループ P R 2 をメインループとするカスケード型の制御系で構成されている。なお、上記速度制御ループでは主に 1 0 ~ 2 0 H z の高周波領域の振動を制振し、位置制御ループでは例えば 0 . 1 H z 程度の低周波領域の振動を制振している。

【 0 0 7 0 】

そして、本実施の形態では、制御系 S 1 内の速度制御ループ S R 1 における加速度を制御系 S 2 内の速度制御ループ S R 2 に出力している。制御系 S 2 では、ウエハ定盤 6 の加速度と鏡筒定盤 2 5 の加速度との差、すなわち相対加速度を積分して得られる相対速度による速度サーボを行う。これにより、ウエハ定盤 6 は鏡筒定盤 2 5 に対して速度制御の下で追従駆動される。換言すると、ウエハ W が投影光学系 P L に対して追従するように同期駆動される。

【 0 0 7 1 】

なお、投影光学系 P L とウエハ W との相対速度を検出する方法としては、加速度計 7 3 、 7 4 を用いることなく、投影光学系 P L とウエハ定盤 6 との相対距離を検出するレーザ干渉計 4 5 の検出結果を微分（演算処理）しても求めることができる。このときの制御ループを図 1 1 に示す。この図に示すように、制御系 S 2 では、レーザ干渉計 4 5 の検出した相対距離を微分することで求めた相対速度により速度制御を実施できる。

【 0 0 7 2 】

以上説明したように、本実施の形態の露光装置では、可動レチクルブラインド 6 2 をリアクションフレーム 8 と振動的に独立して配置しているので、ブレード駆動に伴う振動がリアクションフレーム 8 を介して投影光学系 P L やレチクル R 、ウエハ W に伝わることを防止でき、これらの振動に起因するパターン転写位置のずれや像ボケ等の発生を効果的に防止して露光精度の向上を図ることができる

【 0 0 7 3 】

また、レチクルステージ 2 やウエハステージ 5 の駆動に伴う振動や可動レチクルブラインド 6 2 の駆動に伴う振動により、第 1 照明光学系 I U 1 と第 2 照明光学系 I U 2 に対して相対移動) する可能性があるが、本実施の形態では、可動レチクルブラインド 6 2 と第 2 照明光学系 I U 2 との相対距離に応じて可動ブレードを X 方向および Y 方向のそれぞれに関して移動させているので、レチクル R に対する照明領域を所定位置に維持することができ、ウエハ W 上に露光形成されるパターンの位置精度や重ね合わせ精度の低下を未然に防ぐことができる。さらに、本実施の形態では、可動ブレードの位置を 2 次元平面内で調整しているので、第 1 照明光学系 I U 1 と第 2 照明光学系 I U 2 との相対移動が 2 次元的に発生した場合でも対処することができる。

【 0 0 7 4 】

さらに、本実施の形態では、光学系 6 9 と投影光学系 P L との相対的な傾きからウエハ W 上に結像するパターンのシフト量を算出し、このシフト量を補正するようにレチクルステージ 2 の駆動量を補正しているので、光学系 6 9 の位置誤差に起因するウエハ W 上のパターン位置ずれを防止することができ、露光精度の向上に寄与することができる。

【 0 0 7 5 】

また、本実施の形態では、鏡筒定盤 2 5 に加わる加速度とウエハ定盤 6 に加わる加速度、すなわち投影光学系 P L に加わる加速度とウエハ W に加わる加速度とに基づいて検出したこれらの相対速度による速度制御を行い、光軸方向においてウエハ W を投影光学系 P L に追従させているので、何らかの理由で投影光学系 P L が振動した場合でも投影光学系 P L とウエハ W とを光軸方向で同期させることができ、これらの相対位置関係を維持することができる。そのため、レチクル R 上のパターンをウエハ W 上に露光形成する場合でも、常に投影光学系 P L の焦点位置をウエハ W の所定位置 (レジスト塗布面) に維持することができ、像ボケ等の発生を防止して露光精度の向上を図ることができる。なお、この相対速度としては、レーザ干渉系 4 5 の計測結果により求めた投影光学系 P L とウエハ定盤 6

との相対距離を微分処理して得た場合でも同様の効果を得ることができる。

【0076】

また、本実施形態では、ウエハ定盤6が加振された際の重心位置および慣性主軸を求め、この重心位置および慣性主軸に基づいて定盤に付与する推力を補正しているため、真の慣性系に応じた適切な推力を付与することができ、正確で効果的な制振（短時間の振動減衰）を実施できる。また、シミュレーションにより装置の重心位置および慣性主軸を求めて振動制御を行っても上記と同様に正確な制振を実施できるが、特に、本実施の形態では設計値による計算ではなく、実機においてウエハ定盤6に振動を与えることで重心位置および慣性主軸を求めているため、より正確な制振が可能になる。

【0077】

本実施の形態においては、ウエハ定盤6に対するウエハステージ5の位置に応じて重心位置と慣性主軸とをそれぞれ検出しているため、ウエハステージ5がスキャン動作またはステップ動作で移動した際にも、ウエハ定盤6に付与する推力をその都度正確な重心位置および慣性主軸の座標系に変換して求めることができ、より正確で効果的な制振を実施することができる。また、ウエハ定盤6に対して推力を付与する方向としては、Z方向に沿う方向の他に、重心位置に向かう方向であってもよい。この場合、推力付与に際して回転モーメントが発生しないため、より安定した短時間での制振が可能になる。

【0078】

さらに、本実施の形態では、ウエハ定盤6の振動特性を予めマップとして記憶しておき、このマップとウエハステージ5の位置に応じた補正係数とを用いて、ステージ装置7におけるボイスコイルモータ31の推力をフィードフォワードで推力指令値として出力しているため、残留振動を効果的に減衰させることができ、整定までに要する時間を短くすることができる。しかも、このマップは、実機においてウエハステージ5を駆動して求めているため、計算や実験で求めた場合のように補正項を考慮する必要がなく、実機に即したより正確な振動特性を記憶することができる。

【0079】

なお、上記実施の形態において、ウエハステージ5の移動に伴いXガイドバーXGに加わる反力をリアクションフレーム8に伝達するためのXトリムモータ34としてボイスコイルモータを用いる構成としたが、この構成に限定されるものではなく、E型コアとI型コアとの結合によるEIコアを設置してもよい。この場合、E型コアとI型コアとの一方をXガイドバーXG側に配置し、他方をリアクションフレーム8側に配置すればよく、ムービングコイル型でもムービングマグネット型でもいずれの方式でも適用可能である。ムービングマグネット型であれば、移動するXガイドバーXGに対する配線が不要になり、装置構成の簡素化および配線を伝わる振動の悪影響を排除できる。ムービングコイル型であれば、コイルに対して通電する領域が小さくてすむので、通電により発生する熱の影響を抑制することができる。

【0080】

EIコアは、ボイスコイルモータと比較して1.5倍程度の推力を出力することができる。そのため、Xトリムモータ34としてEIコアを設けることで、同じ推力を出力するボイスコイルモータの2/3程度の大きさで済み、装置の小型化を実現することができる。特に、XガイドバーXGに加わる反力は、1000Nにもなるので、この反力を伝達できるだけの推力を出力するモータとして、この大きさの差は装置全体の小型化に大きく寄与することになる。

【0081】

なお、Xトリムモータ34は、XガイドバーXGのX方向の位置Pを調整するものなので、EIコアにおいてはE型コアとI型コアとの間の相対位置を厳密に制御する必要がある。ここで、EIコアが十分な推力を出力するには、E型コアとI型コアとの間の相対位置を所定範囲内に規制する必要があるため、この相対位置関係を計測する計測装置を設けることが望ましい。この場合、主制御装置70は、計測したE型コアとI型コアとの間の相対位置に基づいてバイアス電流を制御することで、この相対位置を所定範囲内に維持することができ、結果としてXガイドバーXGに加わる反力に対抗するために十分な推力を常に出力することができる。

【0082】

なお、上記実施の形態では、本発明のステージ装置を露光装置 1 に適用する構成としたが、これに限定されるものではなく、露光装置 1 以外にも転写マスクの描画装置、マスクパターンの位置座標測定装置等の精密測定機器にも適用可能である。また、上記実施の形態において、リニアモータ 15、33 をムービングコイル型としたが、ムービングマグネット型にしてもよいことはいうまでもない。

【 0 0 8 3 】

なお、本実施の形態の基板としては、半導体デバイス用の半導体ウエハ W のみならず、液晶ディスプレイデバイス用のガラス基板や、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウエハ、あるいは露光装置で用いられるマスクまたはレチクルの原版（合成石英、シリコンウエハ）等が適用される。

【 0 0 8 4 】

露光装置 1 としては、レチクル R とウエハ W とを同期移動してレチクル R のパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（スキヤニング・ステッパー；USP5,473,410）の他に、レチクル R とウエハ W とを静止した状態でレチクル R のパターンを露光し、ウエハ W を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（ステッパー）にも適用することができる。

【 0 0 8 5 】

露光装置 1 の種類としては、ウエハ W に半導体デバイスパターンを露光する半導体デバイス製造用の露光装置に限られず、液晶表示素子製造用の露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD）あるいはレチクルなどを製造するための露光装置などにも広く適用できる。

【 0 0 8 6 】

また、露光用照明光の光源として、超高圧水銀ランプから発生する輝線（g 線（436nm）、h 線（404.7nm）、i 線（365nm））、KrF エキシマレーザ（248nm）、ArF エキシマレーザ（193nm）、F₂ レーザ（157nm）のみならず、X 線や電子線などの荷電粒子線を用いることができる。例えば、電子線を用いる場合には電子銃として、熱電子放射型のランタンヘキサボライト（LaB₆）、タンタル（Ta）を用いることができる。さらに、

電子線を用いる場合は、レチクルRを用いる構成としてもよいし、レチクルRを用いずに直接ウエハ上にパターンを形成する構成としてもよい。また、YAGレーザーや半導体レーザー等の高周波などを用いてもよい。

【 0 0 8 7 】

投影光学系PLの倍率は、縮小系のみならず等倍系および拡大系のいずれでもよい。また、投影光学系PLとしては、エキシマレーザーなどの遠紫外線を用いる場合は硝材として石英や蛍石などの遠紫外線を透過する材料を用い、F₂レーザーやX線を用いる場合は反射屈折系または屈折系の光学系にし（レチクルRも反射型タイプのものを用いる）、また電子線を用いる場合には光学系として電子レンズおよび偏向器からなる電子光学系を用いればよい。なお、電子線が通過する光路は、真空状態にすることはいうまでもない。また、投影光学系PLを用いることなく、レチクルRとウエハWとを密接させてレチクルRのパターンを露光するプロキシミティ露光装置にも適用可能である。

【 0 0 8 8 】

ウエハステージ5やレチクルステージ2にリニアモータ（USP5,623,853またはUSP5,528,118参照）を用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージ2、5は、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。

【 0 0 8 9 】

各ステージ2、5の駆動機構としては、二次元に磁石を配置した磁石ユニット（永久磁石）と、二次元にコイルを配置した電機子ユニットとを対向させ電磁力により各ステージ2、5を駆動する平面モータを用いてもよい。この場合、磁石ユニットと電機子ユニットとのいずれか一方をステージ2、5に接続し、磁石ユニットと電機子ユニットとの他方をステージ2、5の移動面側（ベース）に設ければよい。

【 0 0 9 0 】

以上のように、本願実施形態の露光装置1は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学

的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電氣的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【 0 0 9 1 】

半導体デバイスは、図 1 2 に示すように、デバイスの機能・性能設計を行うステップ 2 0 1、この設計ステップに基づいたマスク（レチクル）を製作するステップ 2 0 2、シリコン材料からウエハを製造するステップ 2 0 3、前述した実施形態の露光装置 1 によりレチクルのパターンをウエハに露光するウエハ処理ステップ 2 0 4、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む） 2 0 5、検査ステップ 2 0 6 等を経て製造される。

【 0 0 9 2 】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項 1 に係る露光装置は、照明光学系の少なくとも一部と照明領域設定装置との相対位置関係に基づいて照明領域設定装置の位置を調整する構成となっている。

これにより、この露光装置では、マスクに対する照明領域を所定位置に維持することができるので、基板上に露光形成されるパターンの位置精度や重ね合わせ精度の低下を未然に防ぐことができ、露光精度の向上に寄与できるという効果を奏する。

【 0 0 9 3 】

請求項 2 に係る露光装置は、照明領域設定装置が露光を実施するときと露光を

実施しないときとでマスクの照明領域の大きさを変える構成となっている。

これにより、この露光装置では、照明領域の大きさを変える際に照明領域の位置を所定位置に維持することができるので、基板上に露光形成されるパターンの位置精度や重ね合わせ精度の低下を未然に防ぐことができ、露光精度の向上に寄与できるという効果を奏する。

【 0 0 9 4 】

請求項 3 に係る露光装置は、調整装置が照明領域設定装置の位置を 2 次元平面内で調整する構成となっている。

これにより、この露光装置では、照明光学系の少なくとも一部と照明領域設定装置との相対移動が 2 次元的に発生した場合でも、基板上に露光形成されるパターンの位置精度や重ね合わせ精度の低下を未然に防ぐことができるという効果を奏する。

【 0 0 9 5 】

請求項 4 に係る露光装置は、マスクと基板とを走査してパターンを基板に露光する走査型露光装置である構成となっている。

これにより、この露光装置では、マスクと基板とを走査した際にもマスクに対する照明領域を所定位置に維持することができるという効果を奏する。

【 0 0 9 6 】

請求項 5 に係る露光装置は、光学系と投影光学系との相対位置関係に基づいて基板に投影されるパターン像の位置を調整する構成となっている。

これにより、この露光装置では、光学系の位置誤差に起因する基板上のパターン位置ずれを防止することができ、露光精度の向上に寄与できるという効果を奏する。

【 0 0 9 7 】

請求項 6 に係る露光装置は、調整装置が計測装置の計測結果に基づいてマスクステージを駆動する構成となっている。

これにより、この露光装置では、マスクステージの駆動量を調整することで光学系の位置誤差に起因する基板上のパターン位置ずれを防止することができるという効果を奏する。

【 0 0 9 8 】

請求項 7 に係る露光装置は、光学系が投影光学系に支持される構成となっている。

これにより、この露光装置では、光学系が投影光学系に支持された場合でも、光学系の位置誤差に起因する基板上のパターン位置ずれを防止することができるという効果を奏する。

【 0 0 9 9 】

請求項 8 に係る露光装置は、光学系が投影光学系に平行光束を入射する構成となっている。

これにより、この露光装置では、投影光学系に平行光束が傾いて入射した場合でも、光学系の位置誤差に起因する基板上のパターン位置ずれを防止することができるという効果を奏する。

【 0 1 0 0 】

請求項 9 に係る露光装置は、マスクと基板とを走査してパターンを基板に露光する走査型露光装置である構成となっている。

これにより、この露光装置では、マスクと基板とを走査した際にも光学系の位置誤差に起因する基板上のパターン位置ずれを防止することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の露光装置の概略構成図である。

【図 2】 第 2 照明光学系がリアクションフレームに支持された露光装置の概略構成図である。

【図 3】 照明光学系を構成する可動レチクルブラインドの平面図である。

【図 4】 同露光装置を構成するレチクルステージの外観斜視図である。

【図 5】 同露光装置を構成するウエハ側ステージ装置の外観斜視図である。

【図 6】 露光装置の制御系を示す制御ブロック図である。

【図 7】 (a) ～ (c) は、ウエハ定盤の加速度計の出力軌跡をそれぞれ

れ示す図である。

【図 8】 露光装置における重心位置および慣性主軸を説明するための図である。

【図 9】 マップを用いた振動制御の制御ループを示す図である。

【図 1 0】 投影光学系とウエハとを速度制御下で追従駆動させるための制御ループを示す図である。

【図 1 1】 投影光学系とウエハとを速度制御下で追従駆動させるための制御ループを示す図である。

【図 1 2】 半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャート図である。

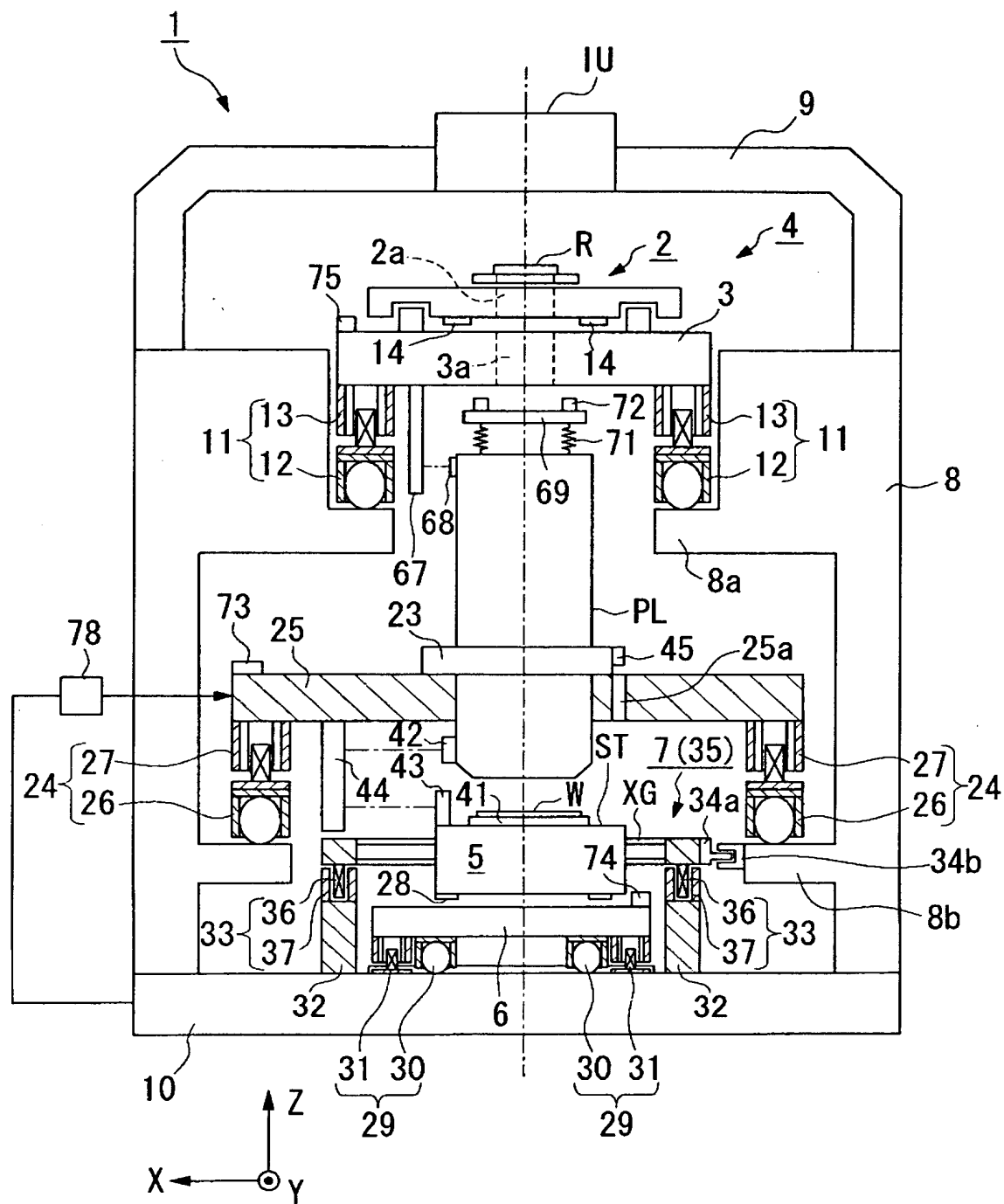
【符号の説明】

- I U 照明光学系
- I U 1 第 1 照明光学系（照明光学系）
- I U 2 第 2 照明光学系（照明光学系）
- P L 投影光学系
- R レチクル（マスク）
- W ウエハ（基板）
- 1 露光装置
- 2 レチクルステージ（マスクステージ）
- 5 ウエハステージ（基板ステージ、ステージ本体）
- 6 ウエハ定盤（定盤）
- 7 ステージ装置
- 8 リアクションフレーム（支持部）
- 3 1 ボイスコイルモータ（推力付与装置）
- 3 4 Xトリムモータ（反力伝達装置）
- 3 5 Xリニアモータ（駆動装置）
- 3 5 a 固定子
- 4 5 レーザ干渉計（検出装置、相対速度検出装置）
- 6 2 レチクルブラインド（照明領域設定装置）

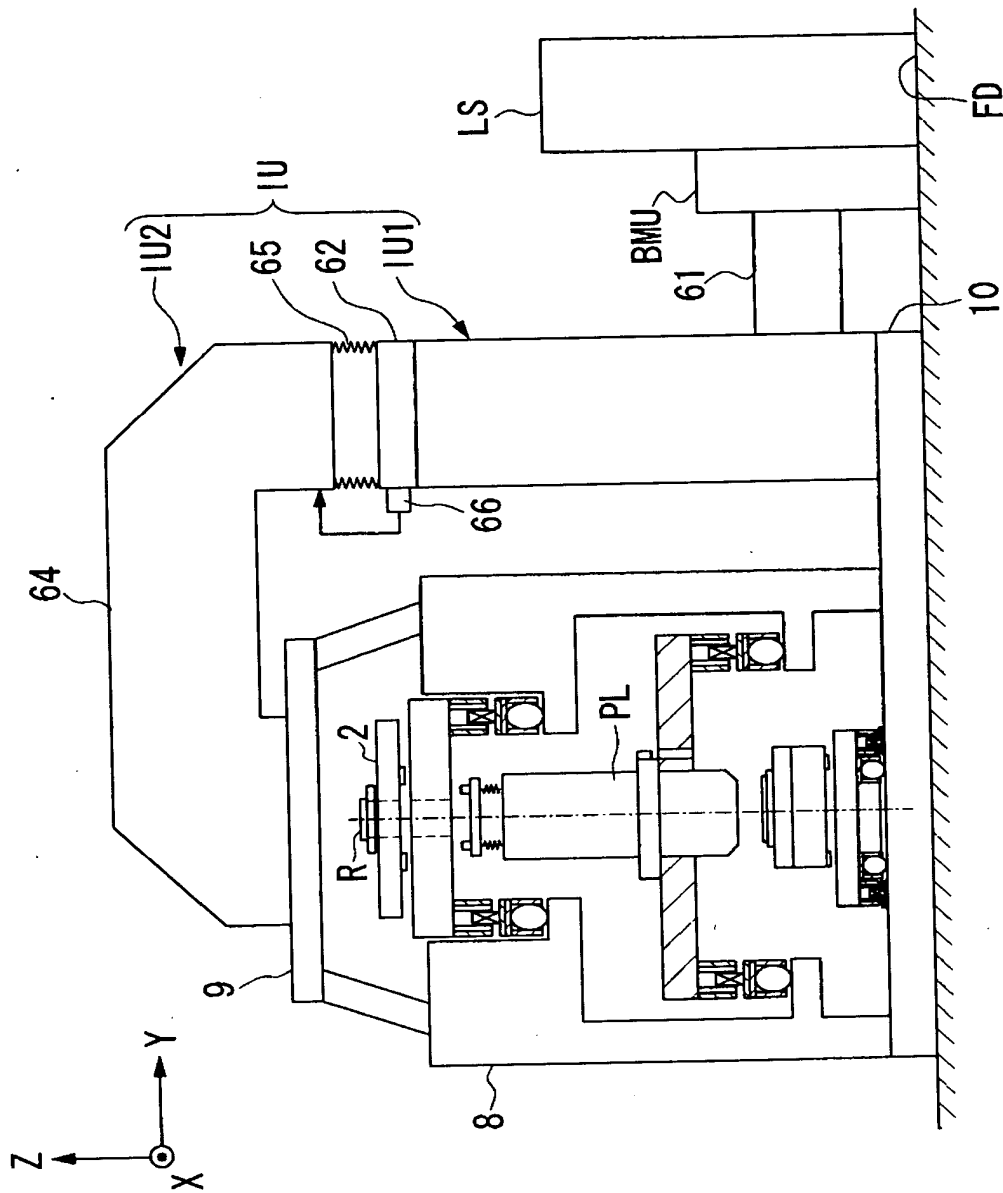
- 6 6 位置センサ（検出装置、相対位置検出装置）
- 6 9 光学系
- 7 0 主制御装置（調整装置、制御装置、補正装置、駆動制御装置）
- 7 2 加速度計（計測装置、相対傾き計測装置）
- 7 3 加速度計（検出装置、相対速度検出装置）
- 7 4 加速度計（検出装置、相対速度検出装置、振動検出装置）
- 7 6 記憶装置

【書類名】 図面

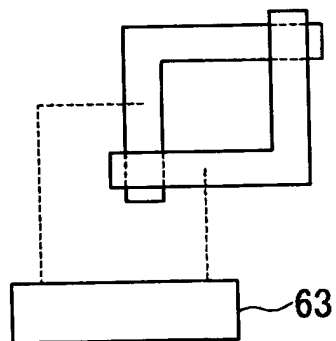
【図 1】



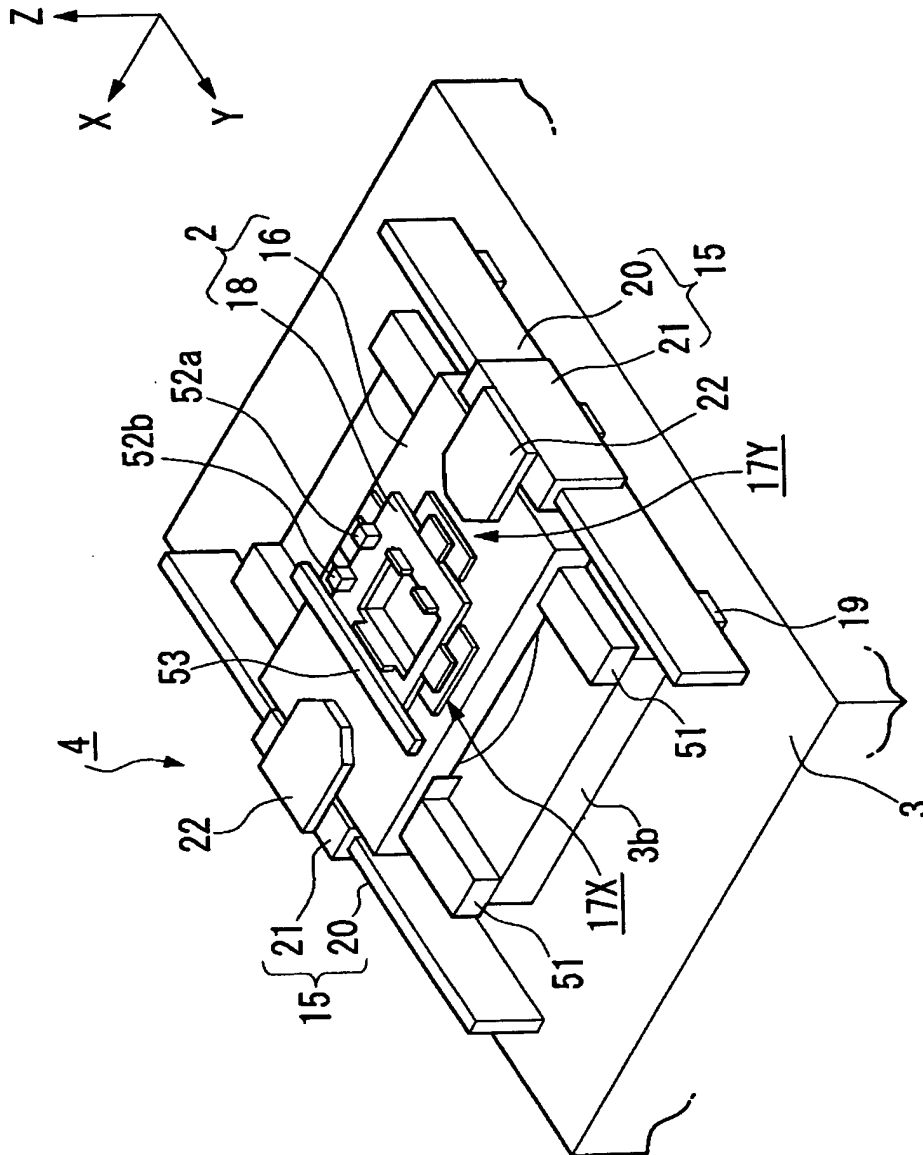
【図 2】



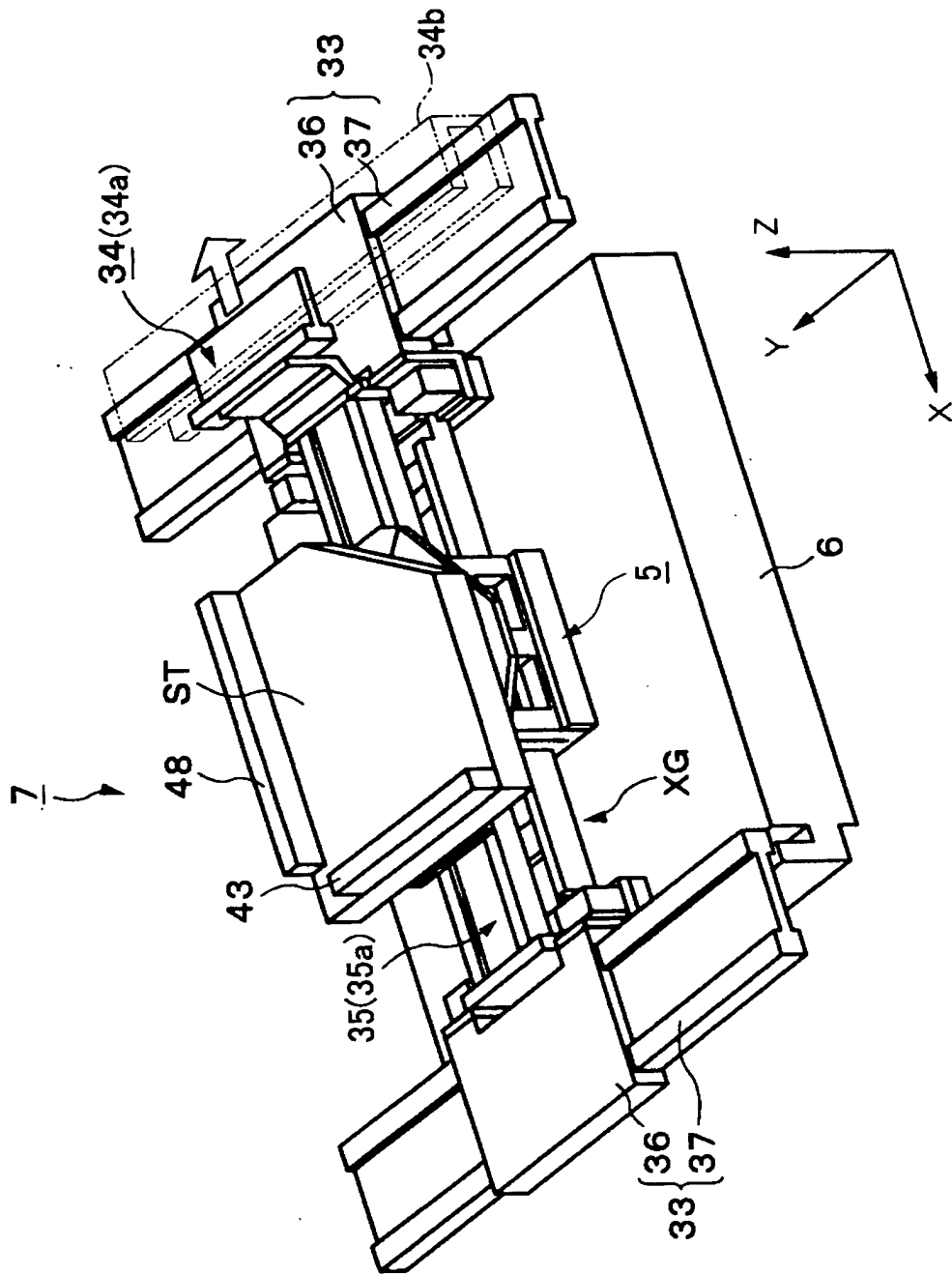
【図 3】



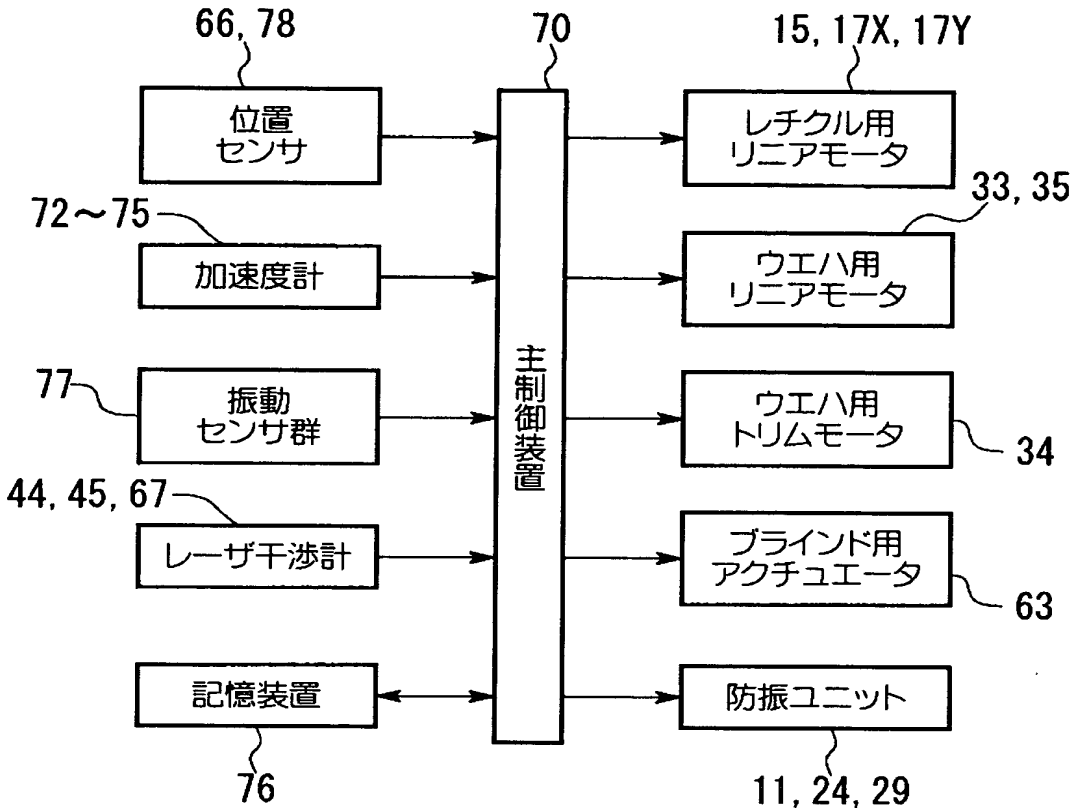
【図4】



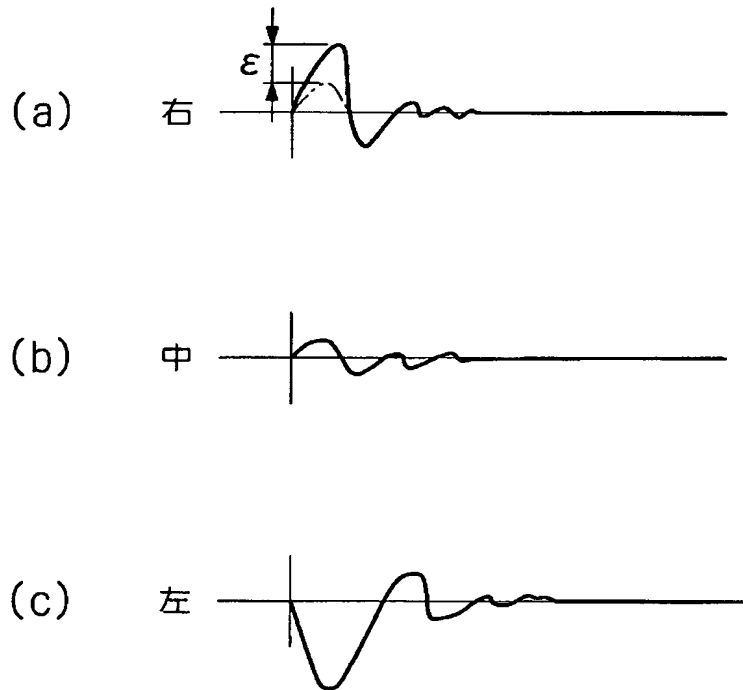
【図 5】



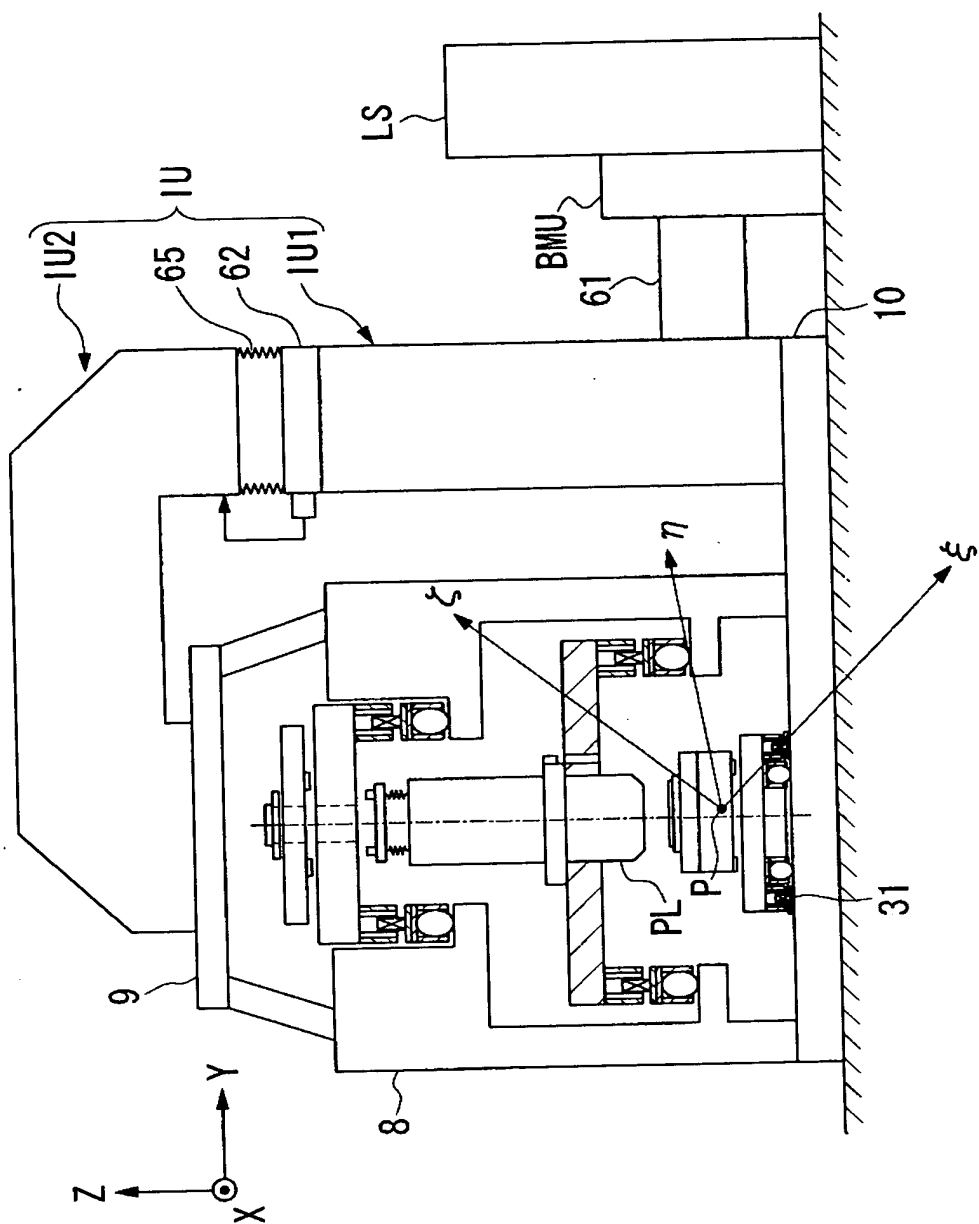
【図 6】



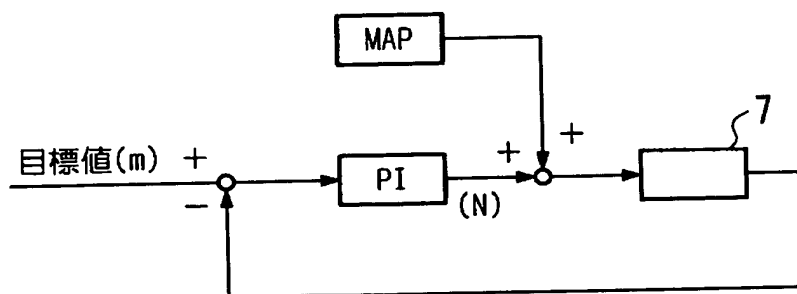
【図 7】



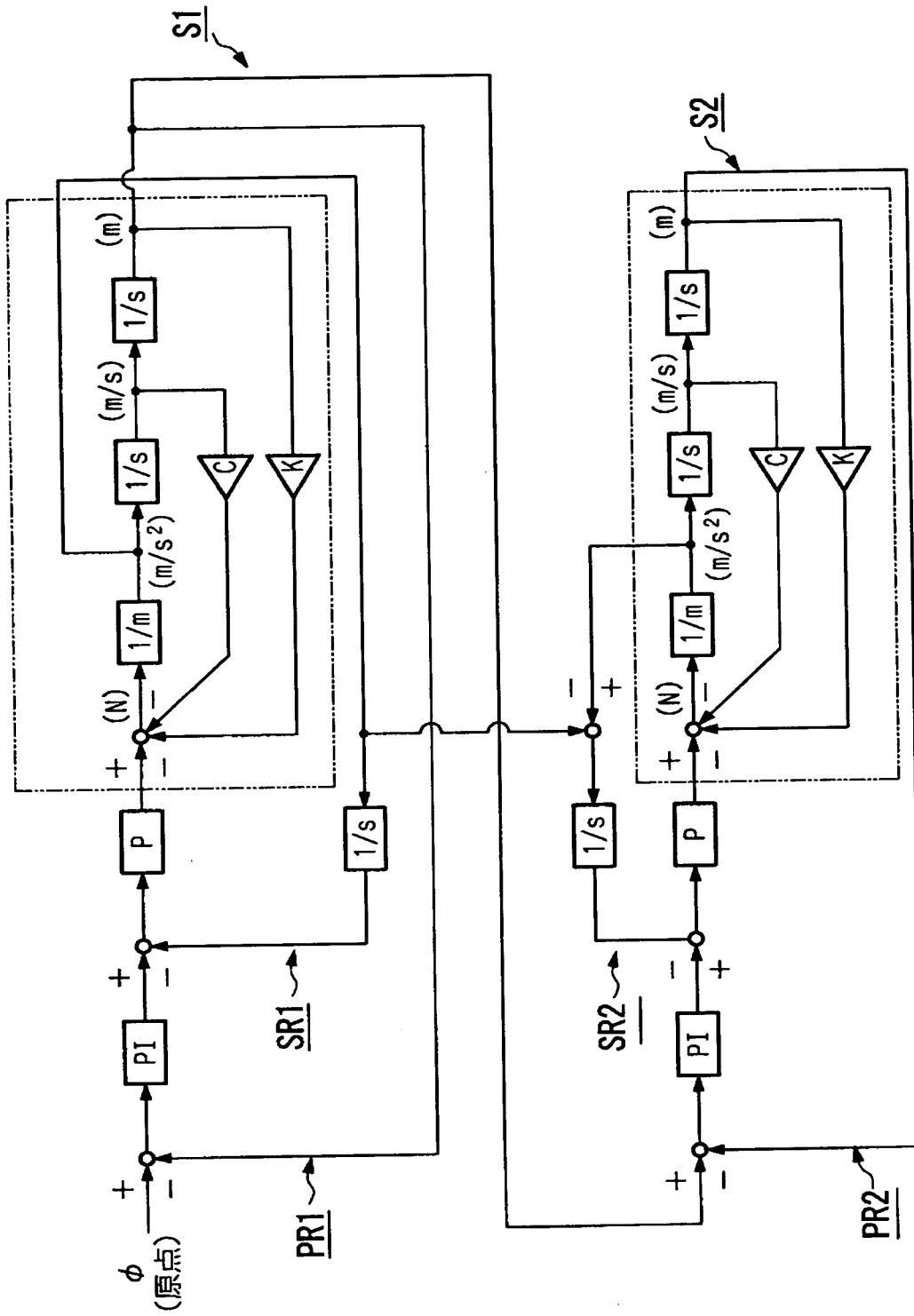
【図 8】



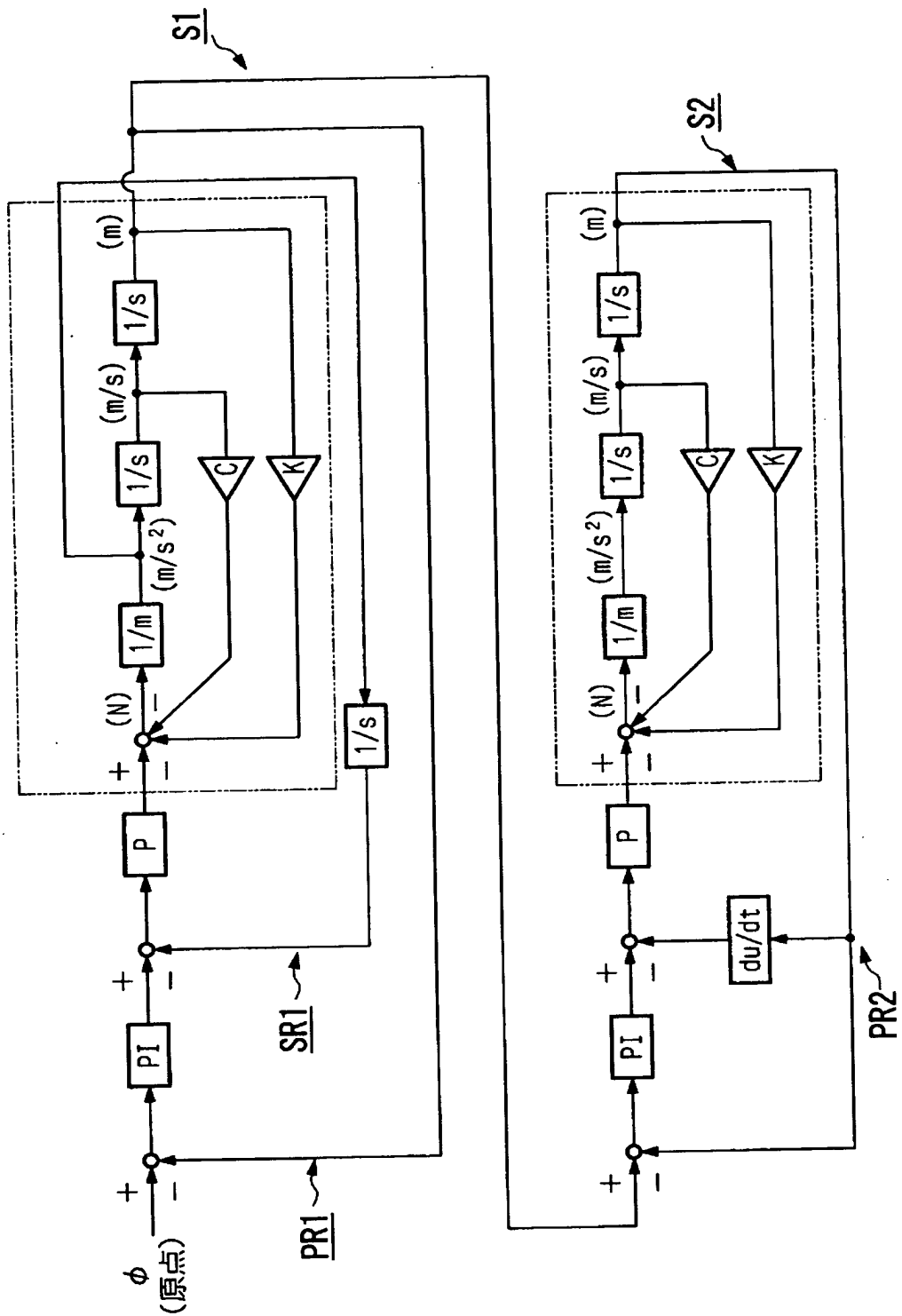
【図 9】



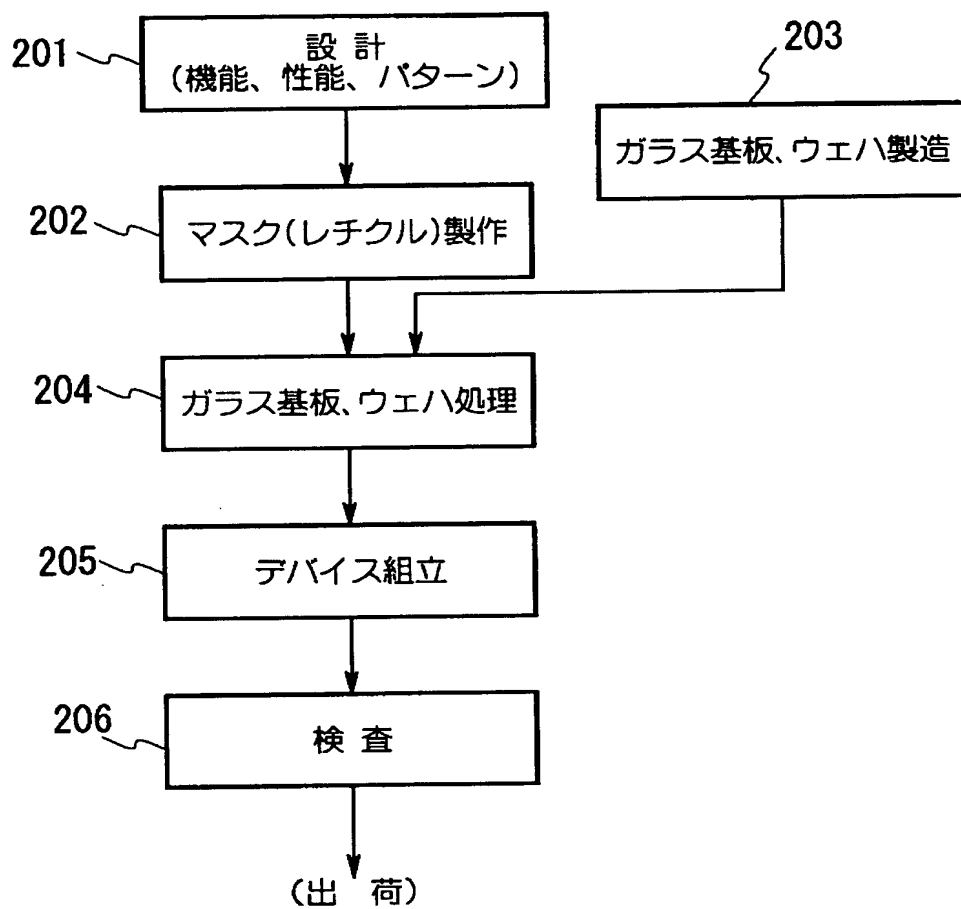
【図 10】



【図 11】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 露光精度の向上に寄与する。

【解決手段】 照明光学系 I U により照明されたマスク R のパターンを基板 W に露光する。照明光学系 I U の少なくとも一部 I U 2 とマスク R とを支持する支持部 8 と、マスク R の照明領域を設定するとともに、支持部 8 とは振動的に独立して配置された照明領域設定装置 6 2 と、照明光学系 I U の少なくとも一部 I U 2 と照明領域設定装置 6 2 との相対位置関係を検出する検出装置 6 6 と、検出装置 6 6 の検出結果に基づいて照明領域設定装置 6 2 の位置を調整する調整装置とを備える。

【選択図】 図 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏 名 株式会社ニコン